

Device for determining the relative orientation of a body.

Patent Number: ☐ EP0557591, B1
 Publication date: 1993-09-01
 Inventor(s): PICKHARD FRIEDHELM (DE); LIEBSCHER FRANZ (DE); NEIDHARDT WOLFGANG (DE)
 Applicant(s): TELDIX GMBH (DE)
 Requested Patent: ☐ DE4205869
 Application Number: EP19920120363 19921128
 Priority Number(s): DE19924205869 19920226
 IPC Classification: G01C19/42; G01C21/16; G01C25/00
 EC Classification: G01C19/42, G01C21/16, G01C25/00A
 Equivalents:
 Cited Documents: US3731543; GB1141385; EP0326256; EP0414057; GB1299822; EP0335116

Abstract

2.1. The orientation of a body (of a module) relative to a reference coordinate system must be determined, for example in Doppler radar or in inertial sensor units such as gyroscopic systems where data from coordinate-related sensors are combined, or in machine construction where the tool orientation of a numerically controlled machine must be determined under load. 2.2 For this purpose, a device is proposed in which a first orientation sensor unit (1) can be guided from an initial orientation (reference orientation) to an end orientation which is defined with respect to the body (K), the orientation of which is to be determined. For the determinations of the reference orientation of a reference body (R), a reference orientation unit (2) is provided, the orientation of which is and remains defined with respect to the reference orientation. A computing unit (4) is provided for calculating the relative orientation from the measured angular velocities of the two sensor units (1, 2). 2.3 Determination of the orientation of modules or of their pick-up devices related to a reference surface, for example in machine construction



particular in aviation technology.

Data supplied from the **esp@cenet** database - I2



①9 BUNDESREPUBLIK
DEUTSCHLAND



DEUTSCHES
PATENTAMT

⑫ **Offenlegungsschrift**
⑩ **DE 42 05 869 A 1**

⑤1 Int. Cl.⁵:
G 01 C 21/16
G 01 C 19/00
G 01 P 3/00
G 01 C 25/00
G 01 B 21/00

②1 Aktenzeichen: P 42 05 869.4
②2 Anmeldetag: 26. 2. 92
④3 Offenlegungstag: 2. 9. 93

DE 42 05 869 A 1

⑦1 Anmelder:
Teldix GmbH, 6900 Heidelberg, DE

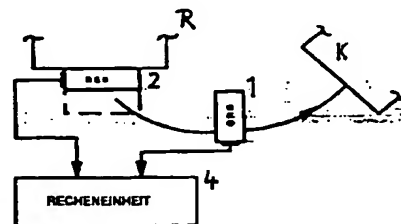
⑦2 Erfinder:
Pickhard, Friedhelm, Dipl.-Ing., 6930 Eberbach, DE;
Liebscher, Franz, Dipl.-Ing., 6900 Heidelberg, DE;
Neidhart, Wolfgang, Dipl.-Ing., 6900 Heidelberg, DE

Prüfungsantrag gem. § 44 PatG ist gestellt

⑤4 Einrichtung zur Bestimmung der relativen Orientierung eines Körpers

⑤7 Beispielsweise beim Dopplerradar oder bei inertialen Sensoreinheiten, wie Kreiselssystemen, wo Daten von koordinatenbezogenen Sensoren verknüpft werden, oder im Maschinenbau, wo die Werkzeugorientierung einer numerisch gesteuerten Maschine unter Belastung bestimmt werden muß, muß die Orientierung eines Körpers (einer Baugruppe) relativ zu einem Referenzkoordinatensystem ermittelt werden.

Hierzu wird eine Einrichtung vorgeschlagen, bei der eine erste Orientierungssensoreinheit (1) von einer Anfangsorientierung (Referenzorientierung) zu einer Endorientierung führbar ist, die bezüglich des Körpers (K) definiert ist, dessen Orientierung zu bestimmen ist. Für die Bestimmungen der Referenzorientierung eines Referenzkörpers (R) ist eine Referenzorientierungseinheit (2) vorgesehen, deren Orientierung bezüglich der Referenzorientierung definiert ist und bleibt. Zur Berechnung der relativen Orientierung aus den gemessenen Winkelgeschwindigkeiten der beiden Sensoreinheiten (1, 2) ist eine Recheneinheit (4) vorgesehen. Bestimmungen der Orientierung von Baugruppen bzw. von deren Aufnahmevorrichtungen bezogen auf eine Referenzfläche beispielsweise im Maschinenbau, insbesondere in der Luftfahrttechnik.



b

DE 42 05 869 A 1

Die folgenden Angaben sind den vom Anmelder eingereichten Unterlagen entnommen

BUNDESDRUCKEREI 07. 93 308 035/78

10/51

Beschreibung

Die Erfindung betrifft eine Einrichtung zur Bestimmung der relativen Orientierung eines Körpers gegenüber einer Referenzorientierung, mit einer beweglichen Orientierungssensoreinheit.

In vielen Anwendungsfällen muß die Orientierung eines Körpers, beispielsweise einer Baugruppe, relativ zu einer Referenzorientierung in einem Referenzkoordinatensystem bestimmt werden können. Beispiele hierfür finden sich überall dort, wo Daten von koordinatenbezogenen Sensoren (z. B. Dopplerradar, inertielle Sensoreinheiten) verknüpft werden, oder im Maschinenbau, wo die Werkzeugorientierung einer numerisch gesteuerten Maschine unter Belastung bestimmt werden muß.

In der Luftfahrtindustrie ist es üblich, die Orientierung von Baugruppen oder von deren Aufnahmevorrichtungen bezogen auf eine Referenzfläche optisch, d. h. durch Autokollimation, zu vermessen.

Durch die Erfindung soll eine andere Einrichtung zur Bestimmung der relativen Orientierung eines Körpers geschaffen werden.

Im Anspruch 1 ist eine entsprechende Einrichtung angegeben, zu welcher die Einrichtung nach Anspruch 2 eine Weiterbildung darstellt. Anspruch 3 bezieht sich auf ein Verfahren zur Kalibrierung der Einrichtung nach Anspruch 2.

Die Einrichtung nach der Erfindung ist zur Durchführung eines Verfahrens geeignet, mit dem sich die relative Orientierung einer Baugruppe bezogen auf eine Referenzorientierung mittels inertialer Winkelgeschwindigkeitssensoren bestimmen läßt. Die Referenzorientierung kann beispielsweise durch eine Referenzfläche gegeben sein, die sich an einem Referenzkörper befindet. Die inertialen Winkelgeschwindigkeitssensoren werden im allgemeinen als Kreisel bezeichnet.

Bei dem mit der erfindungsgemäßen Einrichtung durchführbaren Meßverfahren werden die Winkelgeschwindigkeiten des Referenzkörpers und diejenigen einer Orientierungssensoreinheit gemessen, welche von dem Referenzkörper zu dem Körper (hier: Baugruppe), der vermessen werden soll, bewegt wird. Aus beiden Meßinformationen wird die relative Orientierung des Körpers gegenüber dem Referenzkörper berechnet.

Damit ergeben sich folgende Vorteile:

Das zu vermessende System darf sich während der Messung bewegen; das gilt für den Referenzkörper allein, den zu vermessenden Körper sowie für beide zusammen. Außerdem müssen geophysikalische Größen wie z. B. die Erddrehrate nicht berücksichtigt werden, da nur die relative Orientierung berechnet wird, ohne auf ein erdfestes Koordinatensystem Bezug zu nehmen.

Zur näheren Erläuterung der Erfindung ist in den Zeichnungen folgendes dargestellt:

Fig. 1 Prinzipieller Aufbau der Einrichtung nach der Erfindung.

Fig. 2 Verschiedene Phasen des Meßvorganges.

Fig. 3 Beispiel für die Orientierung der Koordinatenachsen während der Kalibrierung.

Fig. 4 Prinzipielle Schaltungsaufbauten zur Bestimmung von Summen- und Differenzkomponenten aus Winkelgeschwindigkeits-Driftkomponenten für die Kalibrierung der Einrichtung nach Fig. 1.

Fig. 5 Darstellung von Schwenkachsen von inertialen Winkelgeschwindigkeitssensoren zur Driftkalibrierung.

Die Einrichtung nach Fig. 1 besteht aus zwei Winkelgeschwindigkeitssensoren 1 und 2, die über Datenverbindungen 3 zur Übertragung der Meßwerte an eine Recheneinheit 4 angeschlossen sind. Der inertielle Winkelgeschwindigkeitssensor 1 dient als Orientierungssensoreinheit, während der andere Winkelgeschwindigkeitssensor 2 zur Bestimmung der Referenzorientierung vorgesehen ist. Beide liefern Winkelgeschwindigkeitsvektoren (Drehraten-Vektoren) an die Recheneinheit 4.

Die Referenzsensoreinheit 2 wird im folgenden mit RES und die Orientierungssensoreinheit 1 mit ORS abgekürzt. Die ORS und die RES sind jeweils durch eine Kreiseleinheit mit drei Kreiselmeßachsen (Kreiseltriade) realisierbar, die derart orientiert sind, daß innerhalb der Kreiseleinheit die Meßachsen nicht parallel zueinander und die drei Meßachsen einer Kreiseleinheit nicht in einer Ebene liegen, sondern vorzugsweise orthogonal angeordnet sind. Die ORS und die RES sind weiterhin mechanisch so aufzubauen, daß sie definiert und hinreichend starr untereinander und mit dem zu vermessenden Körper (z. B. durch Aufnahmevorrichtungen) sowie mit einem Referenzkörper (Referenzfläche) (z. B. mittels Adapter) mechanisch koppelbar sind.

Aufgabe der Recheneinheit 4 ist es, aus den von der ORS und der RES gemessenen Winkelgeschwindigkeiten (Drehraten) die relative Orientierung zwischen der Anfangsorientierung der ORS und deren Endorientierung zu berechnen, wobei die Anfangsorientierung bevorzugt mit der Orientierung des Referenzkörpers und die Endorientierung mit der Orientierung des zu vermessenden Körpers übereinstimmen oder doch wenigstens dem Referenzkörper und dem Körper eindeutig zugeordnet sind.

Zur Beschreibung des Meßverfahrens wird der Endorientierung entsprechend dem zu vermessenden Körper bzw. dessen Aufnahmevorrichtung ein kartesisches Koordinatensystem k_{BGR} zugeordnet, das bezogen auf den Körper (z. B. eine Baugruppe) eine feststehende Orientierung hat. Analog wird der Anfangsorientierung des Referenzkörpers bzw. der Referenzfläche ein Koordinatensystem k_{REF} zugeordnet. Die meßtechnische Aufgabe besteht nun darin, die Orientierung des Koordinatensystems k_{BGR} bezogen auf die Referenzorientierung zu bestimmen. Mathematisch läßt sich die Orientierung eines Koordinatensystems bezogen auf ein anderes Koordinatensystem durch verschiedene Parametersätze beschreiben. Üblich sind Eulerwinkel, Richtungskosinus-Matrizen oder Quaternionen (Mc Kern, "A study of transformation algorithms for use in a digital computer", Masters thesis, T-493, Massachusetts Institute of Technology; Cambridge, 1968). Die verschiedenen Parameter sind ineinander umrechenbar. Hier wird die Quaternionendarstellung verwendet. Der RES und ORS werden gedanklich kartesische Koordinatensysteme k_{RES} bzw. k_{ORS} zugeordnet, und die von der RES und der ORS gemessenen Winkelgeschwindigkeiten werden bezogen auf diese Koordinatensysteme mit w_{RES} bzw. w_{ORS} bezeichnet.

Aufgabe der Recheneinheit ist es, aus den von der ORS und der RES gemessenen Winkelgeschwindigkeiten

die relative Orientierung des Körpers (das Orientierungsquaternion $q_{[BGR;REF]}$ bzw. eine geeignete andere Parameterdarstellung für die Orientierung) zu ermitteln. Mathematisch erfordert dies die Lösung der folgenden Quaternionen-Differentialgleichung in geeigneter Art und Weise:

$$\dot{q}_{[ORS;RES]} = 0,5[q_{[ORS;RES]} \odot w_{RES} - w_{RES} \odot q_{[ORS;RES]}^*] \quad (1) \quad 5$$

Darin bedeuten:

$q_{[ORS;RES]}$: Quaternion zur Beschreibung einer Vektortransformation vom Koordinatensystem der ORS ins Koordinatensystem der RES,

w : Winkelgeschwindigkeit-Vektor,

\odot : Quaternionenmultiplikation,

$*$: konjugiert komplex.

Anstelle dieser Quaternionen-Differentialgleichung kann selbstverständlich auch eine Euler-Winkel-Differentialgleichung oder eine Differentialgleichung anderer zur Beschreibung einer Orientierung geeigneter Parameter verwendet werden.

Algorithmen zur zeitdiskreten Lösung einer Differentialgleichung der obengenannten Art — auch dann, wenn die Ausgangsgrößen der Winkelgeschwindigkeitssensoren Winkelinkremente bzw. Drehraten darstellen — sind in der Inertialtechnik bekannt und zum Beispiel in der oben angegebenen Literaturstelle von Mc Kern beschrieben.

Die Vermessung der Orientierung eines Körpers (oder dessen Aufnahmevorrichtung) läßt sich in drei Phasen gliedern:

I. Die ORS und die RES sind mechanisch hinreichend starr mit dem Referenzkörper (Referenzfläche verbunden, vgl. die Anfangsorientierung in Fig. 2a, wo sich die ORS 1 und die RES 2 gemeinsam am Referenzkörper R befinden. Die Recheneinheit 4 wird über einen Eingang 5 zur Lösung der Quaternionendifferentialgleichungen initialisiert und zum Zeitpunkt t_0 gestartet.

II. Die ORS 1 wird entkoppelt und zu dem zu vermessenden Körper K geführt, während die RES 2 mit dem Referenzkörper R starr verbunden bleibt, vgl. Fig. 2b. Die Recheneinheit 4 integriert die Quaternionendifferentialgleichung gemäß Gleichung (1).

III. Die ORS 1 wird an den zu vermessenden Körper (bzw. dessen Aufnahmevorrichtung) gekoppelt (Endorientierung) und die Integration der Gleichung (1) gestoppt, und zwar wieder über den Eingang 5 zum Zeitpunkt t_1 , wie in Fig. 2c dargestellt.

Unter der Voraussetzung, daß in Phase I die Koordinatensysteme k_{RES} , k_{ORS} und k_{REF} sowie in Phase III die Koordinatensysteme k_{ORS} und k_{BGR} parallel zueinander orientiert sind, beschreibt die Lösung der von der Recheneinheit während der Phase II integrierten Quaternionen-Differentialgleichung (1) die Orientierung des Koordinatensystems des zu vermessenden Körpers (Baugruppe oder Aufnahmevorrichtung) in bezug auf das Referenzkoordinatensystem in Form einer Quaternion $\Delta q_{[BGR;REF]}$. Es gilt unter den oben angegebenen Voraussetzungen:

$$q_{[ORS;RES]} = \int_{t_0}^{t_1} \dot{q}_{[ORS;RES]} dt = \Delta q_{[BGR;REF]} \quad (2), \quad 40$$

wobei die Buchstabenfolgen BGR und REF für den Körper (Baugruppe) bzw. den Referenzkörper stehen.

Wie schon erwähnt, sind geeignete Lösungsverfahren zur Integration dieser Differentialgleichung bekannt.

Sofern die oben angegebenen Bedingungen bezüglich der Orientierung der Koordinatensysteme in den Phasen I und III nicht gegeben sind, so sind doch die Beziehungen untereinander aufgrund der Konstruktionsgegebenheiten bekannt und können z. B. durch folgende Quaternionen beschrieben werden:

$$k_{RES} = q_{[RES;REF]}(t_0) \odot k_{REF} \odot q_{[RES;REF]}^*(t_0) \quad (3a) \quad 50$$

$$k_{ORS} = q_{[ORS;RES]}(t_0) \cdot k_{[ORS;RES]}^*(t_0) \text{ (nur Phase I)} \quad (3b) \quad 50$$

$$k_{BGR} = q_{[BGR;ORS]}(t_1) \cdot k_{[BGR;ORS]}^*(t_1) \text{ (nur Phase III)} \quad (3c) \quad 50$$

Für das gesuchte Orientierungsquaternion $\Delta q_{[BGR;REF]}$ folgt unter Berücksichtigung der Beziehungen (3a, b, c) und (1):

$$\Delta q_{[BGR;REF]} = q_{[BGR;ORS]}(t=t_1) \odot q_{[ORS;RES]} \odot q_{[RES;REF]}(t_0) \quad (4) \quad 60$$

Die Quaternionen-Differentialgleichung gemäß (1) muß zum Zeitpunkt t_0 mit dem Quaternion $q_{[ORS;REF]}(t_0)$ initialisiert werden. Dieses Quaternion bzw. die dadurch beschriebene Orientierung ist natürlich aufgrund der konstruktiven Gegebenheiten bekannt.

Eine wesentliche Genauigkeitseinschränkung für das zuvor beschriebene Meßverfahren ist bedingt durch den während einer Messung zeitlich konstanten Anteil der Kreisel drift, speziell der sogenannten "run to run"-Drift. Das ist derjenige Anteil der Kreisel drift, der nach jedem Einschalten des Kreisel systems, also bei jedem Kreisellauf in unterschiedlichem Maße, also in Abweichung von der durchschnittlichen Kreisel drift auftritt und im Gegensatz zur durchschnittlichen Kreisel drift nicht ohne weiteres kompensierbar ist.

Im folgenden wird ein Verfahren beschrieben, wie die "run to run"-Drift kalibriert werden kann. Die hier

vorgeschlagene Art der Kalibration läßt sich z. B. bei Flugzeugen zur Kalibration von INS-Systemen (inertialen Navigationssystemen) anwenden, sofern sie redundant ausgelegt sind, und ist auch zur Kalibration von Beschleunigungsmesser-Biasen, also zur Kalibration der Drift von Beschleunigungsmessern geeignet.

Das Verfahren wird am Beispiel der Kreisdriфт beschrieben, gilt aber auch für andere Meßgrößen mit Offsetfehlern analog, insbesondere für Beschleunigungsmeßwerte. Die von der ORS und der RES gelieferten Meßvektoren lassen sich unter Berücksichtigung des konstanten Driftanteils bezogen auf die Koordinatensysteme k_{ORS} und k_{RES} wie folgt beschreiben:

$$w_{\text{ORS_M}} = w_{\text{ORS}} + d_{\text{ORS}} \quad (5a)$$

$$w_{\text{RES_M}} = w_{\text{RES}} + d_{\text{RES}} \quad (5b)$$

Darin bedeuten:

w : Winkelgeschwindigkeit (Winkelinkrement) -Vektoren der Orientierungssensoreinheit (ORS) bzw. Referenzsensoreinheit (RES)

d : Drift (Driftinkrement)-Vektor der "run to run"-Drift

M : Postfix, das einen Meßwert kennzeichnet.

Im folgenden wird vorausgesetzt, daß die Koordinatensysteme k_{ORS} und k_{RES} bezogen auf die Kreiselmeßachsen eine zeitlich feststehende Orientierung haben; dies ist keine Einschränkung, da es sich um gedankliche Koordinatensysteme handelt.

Die Koordinatensysteme k_{ORS} und k_{RES} werden nun für verschiedene Meßschritte so umorientiert, daß der Summenvektor $d+$ entsprechend der Gleichung

$$d+ = d_{\text{RES}} + d_{\text{ORS}} \quad (6a)$$

und der Differenzvektor $d-$ entsprechend der Gleichung

$$d- = d_{\text{RES}} - d_{\text{ORS}} \quad (6b)$$

(beziehungsweise deren Komponenten) meßtechnisch erfaßbar sind. In diesen Gleichungen stellen d_{ORS} und d_{RES} die Drift (Driftinkrement) Vektoren der ORS bzw. RES dar.

Die Umorientierung kann erreicht werden, indem die Koordinatensysteme k_{RES} und k_{ORS} ausgehend von einer Ursprungsorientierung gegeneinander gedreht werden und in definierten Orientierungen die Differenz bzw. die Summe der Meßvektoren (-Komponenten) d_{RES} , d_{ORS} berechnet werden. Hierbei sind die ORS und die RES mechanisch starr und hinreichend definiert zu koppeln.

In Fig. 3 sind exemplarisch drei Orientierungen für die Koordinatensysteme k_{ORS} und k_{RES} angegeben. Fig. 3a zeigt die Ursprungsorientierung, von der ausgehend die Umorientierungen nach Fig. 3b und 3c vorgenommen werden, um jeweils die erforderlichen Messungen vorzunehmen. In der Ausrichtung a (Ursprungsorientierung) sind die Koordinatensysteme k_{ORS} und k_{RES} parallel zueinander orientiert. Da beide Systeme starr miteinander gekoppelt sind, ergibt die Differenz der gemessenen Winkelgeschwindigkeiten die Differenz der Driftvektoren $d_{\text{RES}} - d_{\text{ORS}}$.

Nach der ersten Umorientierung sind in der Ausrichtung nach Fig. 3b die x- und z-Achsen der Koordinatensysteme k_{ORS} und k_{RES} jeweils antiparallel zueinander orientiert. Durch Summenbildung der Meßkomponenten x, z der ORS und der RES erhält man die Summen der Driftkomponenten $d_{\text{RES}}(x) + d_{\text{ORS}}(x)$ bzw. $d_{\text{RES}}(z) + d_{\text{ORS}}(z)$.

Nach einer Umorientierung, die zu der Ausrichtung nach Fig. 3c führt, sind die y-Achsen der Koordinatensysteme k_{ORS} und k_{RES} antiparallel zueinander orientiert. Die Summe der y-Meßkomponenten der ORS und der RES ergibt die Summe der y-Driftkomponenten $d_{\text{RES}}(y) + d_{\text{ORS}}(y)$.

Mit Hilfe von $d+$ und $d-$ sowie der folgenden Gleichungen 7a und 7b lassen sich dann die Driftvektoren d_{RES} und d_{ORS} einfach berechnen und die Meßgrößen damit kalibrieren:

$$d_{\text{RES}} = 0,5 \cdot (d+ + d-) \quad (7a)$$

$$d_{\text{ORS}} = 0,5 \cdot (d+ - d-) \quad (7b)$$

Für die Berechnung der Komponenten für die Ausrichtungen gemäß Fig. 3 sind in den Fig. 4a bis 4c Prinzipschaltbilder dargestellt. Fig. 4a gehört zur Ausrichtung a der Fig. 3, und entsprechend gehören die Fig. 4b, 4c zur Ausrichtung b bzw. c der Fig. 3. Den Summierern in den Fig. 4b, 4c bzw. dem Differenzbildner in Fig. 4a ist jeweils eine Einrichtung 7 zur Mittelwertbildung nachgeschaltet, die zur Unterdrückung von sogenannten "short-term" und "random-walk"-Driftanteilen dienen. Von den über die durchschnittliche Drift hinausgehenden Anteilen sind die "short-term"-Anteile diejenigen, die noch korreliert sind, während die "random-walk"-Driftanteile nicht mehr korreliert sind. Die Mittelungszeit der Mittelwertbildner 7 ist abhängig von der Varianz der Störgrößen und vom zulässigen Fehler bei der Driftberechnung.

Ein wesentlicher Vorteil dieses Verfahrens ist, daß aufgrund der Differenzbildung die Umgebungsdynamik w_{ORS} bzw. w_{RES} herausfällt.

Sofern die Ausgangsgrößen der Sensoreinheiten Winkelinkremente sind, werden mit dem zuvor beschriebenen Verfahren Driftinkremente berechnet. Dann gilt das in Fig. 4 dargestellte Verfahren zur Berechnung der Summen- bzw. Differenzdriftvektor-Komponenten entsprechend auch für eine zeitdiskrete Signalverarbeitung.

Um die Umorientierung der Koordinatensysteme von der Ursprungsorientierung entsprechend der Ausrichtung a der Fig. 3 in die anderen Ausrichtungen b, c nach den Fig. 3b, 3c vornehmen zu können, können die ORS und die RES nach Fig. 5 aufgebaut sein.

Hier sind die RES 2 und die ORS 1 jeweils mit einem Schwenkmechanismus 13 ausgerüstet, der es erlaubt, die jeweilige Kreiseltriade 12R bzw. 12O um 180° und eine quer zur Koordinate z_{RES} bzw. y_{ORS} stehende Achse 8 bzw. 9 zu schwenken. Eingezeichnet ist die jeweilige Lage der y- und z-Koordinaten entsprechend der Ursprungsorientierung, wie in Fig. 3a angegeben. Durch Umklappen jeweils einer der Kreiseltriaden 12R bzw. 12O lassen sich die Ausrichtungen b bzw. c nach Fig. 3 erzielen, in denen die notwendigen Messungen vorgenommen werden, wobei die RES und die ORS mechanisch starr miteinander gekoppelt bleiben, wie in Fig. 5 gezeigt. Mit diesen Meßwerten kann dann die "run to run"-Drift kalibriert werden.

Soll das Verfahren zur Kalibration von Beschleunigungsmessern angewendet werden, so sind diese in Fig. 5 an die Stelle der Kreiseltriaden zu setzen. Insbesondere bei redundanten Systemen, bei welchen Sensoreinheiten mehrfach vorhanden sind, bietet sich das Kalibrationsverfahren als eine einfache Lösung an, beispielsweise in Flugzeugnavigationsanlagen.

Von besonderem Vorteil ist es, daß die RES und die ORS, wie in Fig. 5 verdeutlicht, identisch aufgebaut sein können. Dies erleichtert auch die Anwendung in redundanten Systemen.

Patentansprüche

1. Einrichtung zur Bestimmung der relativen Orientierung eines Körpers (K) gegenüber einer Referenzorientierung, mit einer beweglichen Orientierungssensoreinheit (1), gekennzeichnet durch folgende Merkmale:

a) Die Orientierungssensoreinheit (1) ist ein inertialer Winkelgeschwindigkeitssensor, der von einer Anfangsorientierung, die bezüglich der Referenzorientierung definiert ist, zu einer Endorientierung führbar ist, die bezüglich der Orientierung des Körpers (K) definiert ist,

b) für die Bestimmung der Referenzorientierung ist eine Referenzsensoreinheit in Gestalt eines zweiten inertialen Winkelgeschwindigkeitssensors (2) vorgesehen, dessen Orientierung bezüglich der Referenzorientierung definiert ist und bleibt,

c) für die von den inertialen Winkelgeschwindigkeitssensoren (1, 2) gemessenen Winkelgeschwindigkeiten ist zur Berechnung der relativen Orientierung des Körpers (K) eine Recheneinheit vorgesehen (4), die eine Ausgabereinheit für Signale entsprechend dem Berechnungsergebnis enthält.

2. Einrichtung nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, daß die Orientierungssensoreinheit (1) mit der Referenzsensoreinheit (2) mittelbar oder unmittelbar mechanisch starr koppelbar ist um 180° aus einer Ursprungsorientierung um eine Orientierungssensor-Schwenkachse (9) schwenkbar ist, die senkrecht zu einer ihrer Meßachsen verläuft und die in einer Ebene mit einer Referenzsensor-Schwenkachse (8) liegt, um welche die Referenzsensoreinheit (2) um 180° aus ihrer Ursprungsorientierung schwenkbar ist und die senkrecht zur Orientierungssensor-Schwenkachse (9) und einer ihrer Meßachsen verläuft.

3. Verfahren zur Kalibrierung der Einrichtung nach Anspruch 2 zur Reduzierung von Driftfehlern, dadurch gekennzeichnet, daß

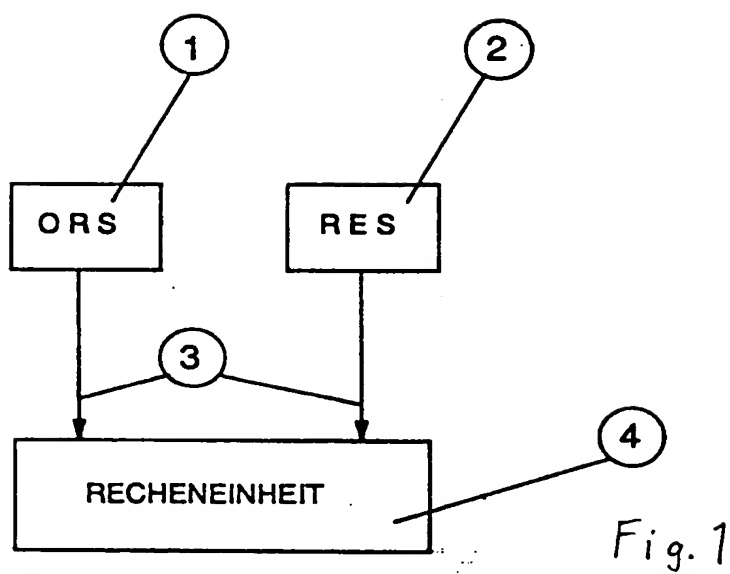
die Orientierungs- und die Referenzsensoreinheit mechanisch starr miteinander gekoppelt werden und daß in einer Ursprungsorientierung der Orientierungs- und der Referenzsensoreinheit deren Meßvektoren voneinander subtrahiert werden, wodurch ein Differenzvektor ($d -$) entsteht,

daß außerdem eine oder mehrere Komponenten der Winkelgeschwindigkeiten oder -inkremente einerseits der Orientierungssensoreinheit gemessen werden, wenn nur diese um 180° aus ihrer Ursprungsorientierung geschwenkt ist, und andererseits mehrere bzw. eine Komponente der Winkelgeschwindigkeiten der Referenzsensoreinheit gemessen werden, wenn nur diese um 180° aus ihrer Ursprungsorientierung geschwenkt ist,

daß aus den gemessenen Komponenten ein Summenvektor ($d +$) gebildet wird und aus dem Differenz- und dem Summenvektor für die Referenz- und die Orientierungssensoreinheit je ein Driftvektoren gebildet wird, mit dem jeweils diejenigen Meßgrößen kalibriert werden, die unmittelbar vor oder nach der Kalibrierung anfallen.

4. Verfahren nach Anspruch 3, dadurch gekennzeichnet, daß jeweils bei der Bildung und der Summen- und Differenzvektoren eine Mittelwertbildung erfolgt.

Hierzu 5 Seite(n) Zeichnungen



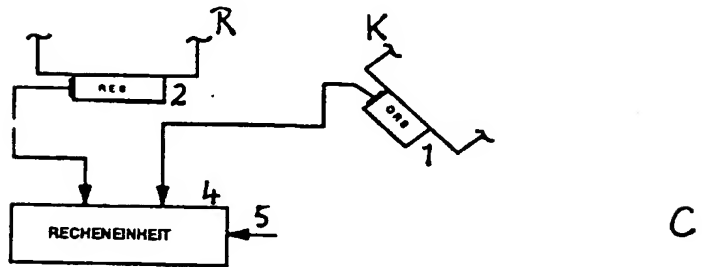
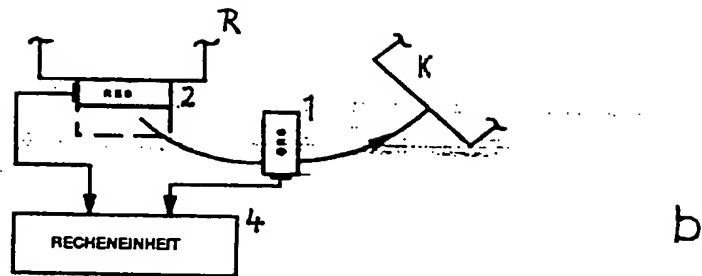
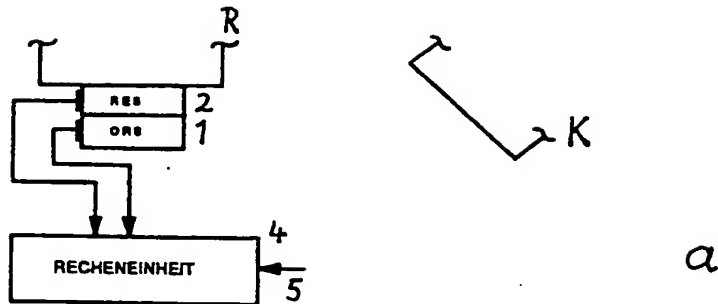
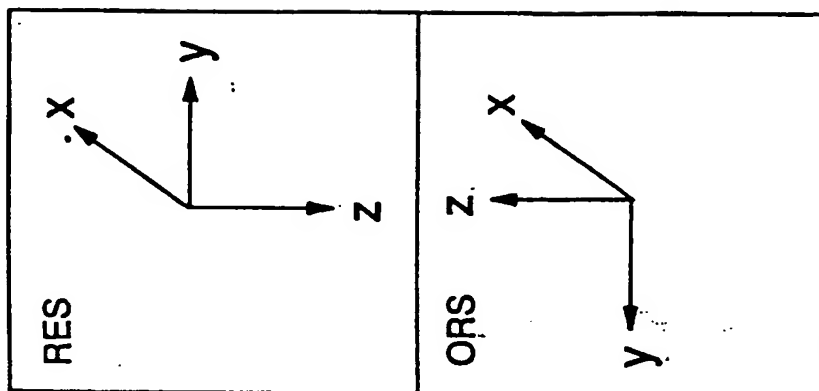


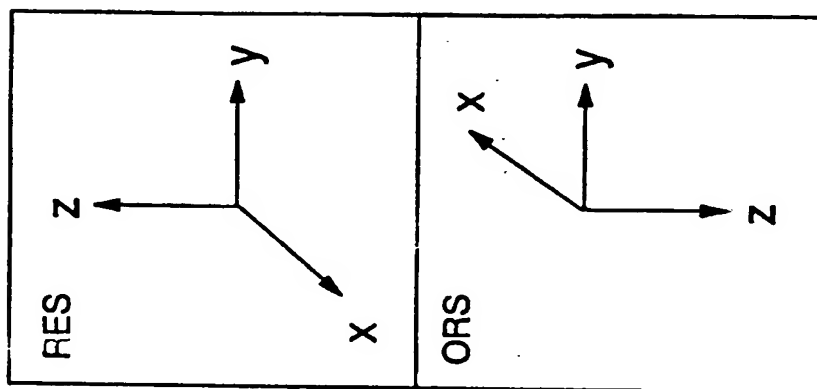
Fig.2

Ausrichtung c



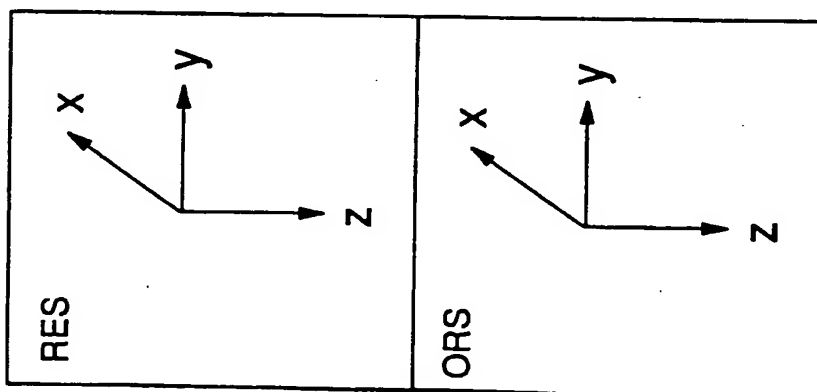
c

Ausrichtung b



b

Ausrichtung a



a

Fig.3

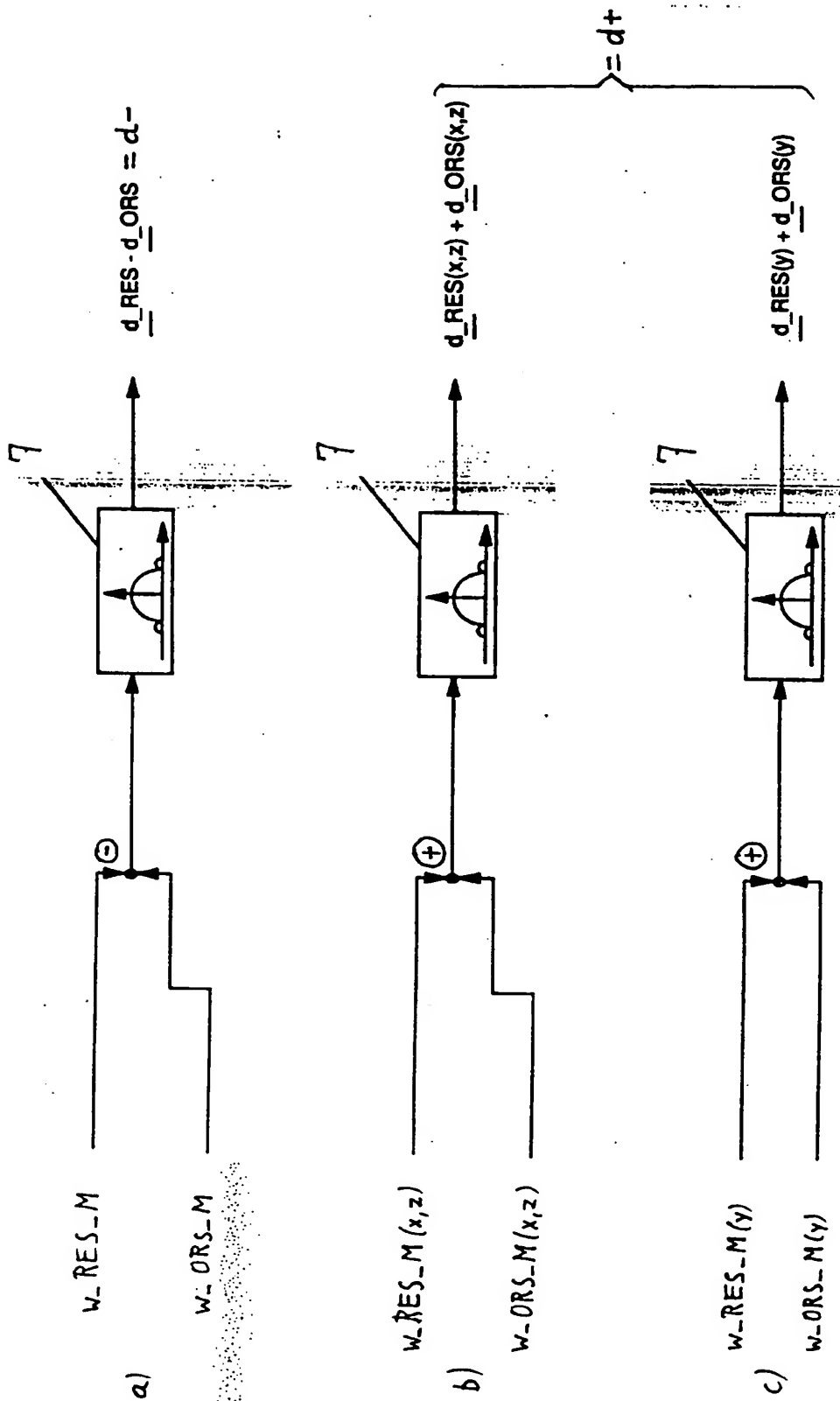


Fig. 4

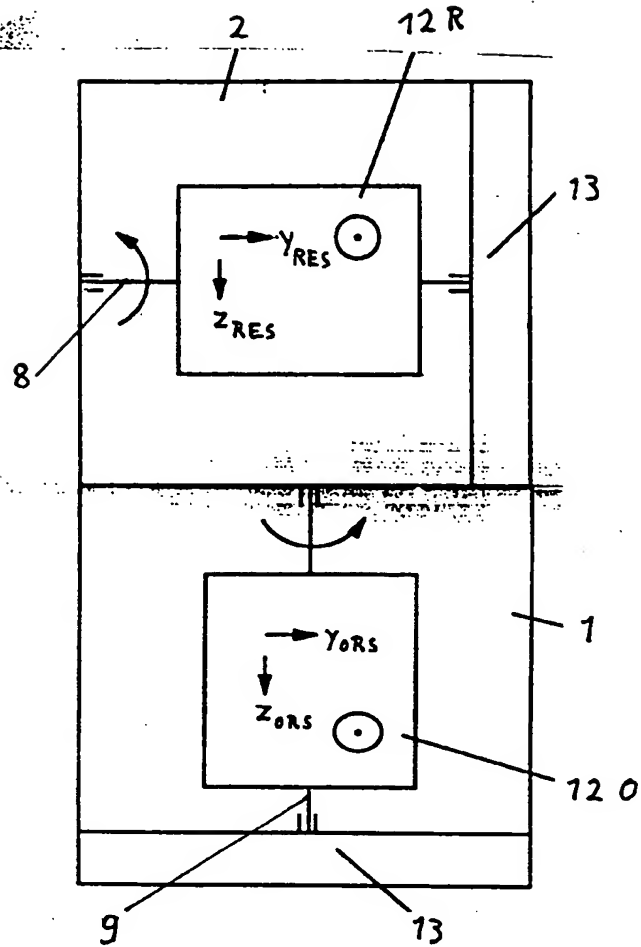


Fig. 5